Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 599-614

Effect of Different Concentrations and Application Methods of Putrescine Application on Vase Life, Some Physiological Parameters and Enzymatic Activity of Carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) Flowers

S.A. Razi[1], D. Hashemabadi[2]*, B. Kaviani[3]

Received: 23-07-2021
Revised: 22-09-2021
Accepted: 04-10-2021
Available Online: 04-10-2021

How to cite this article:
Razi, S.A., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2023). Effect of different concentrations and application methods of putrescine application on vase life, some physiological parameters and enzymatic activity of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers. *Journal of Horticultural Science, 37*(3), 599-614. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2021.71518.1075

Introduction

Carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) is one of the most important cut flowers of the world. This flower is sensitive to postharvest ethylene and water stress and has short vase life. The use of retardants or inhibitors compounds of ethylene is an effective way to increase the postharvest life of carnation. Polyamines including putrescine (diamine), spermidine (triamine) and spermine (tetraamine) as new groups of plant growth regulators that are involved in various processes including increasing cell division, increasing enzyme biosynthesis, regulation of different developmental stages, differentiation, flowering, embryogenesis, rooting and maturity. These compounds exert their anti-aging properties by competing with ethylene production. Polyamines are low molecular weight organic compounds with aliphatic nitrogen groups that have different hydrocarbon rings and two or more amino groups (positive charge agents). These organic compounds bind to cell membranes, nucleic acids, and other macromolecules and are involved in chromatin formation, ion channel control, free radical neutralization, and gene expression. Cell membrane strength and stability play an important role in increasing the post-harvest life of horticultural crops. Putrescine is the major polyamine in plants, which is a precursor to the synthesis of spermidine and spermine, and its positive effect on increasing the vase life of some cut flowers has been reported. Vase life of cut flowers of chrysanthemum, rose and gladiolus was increased by application of putrescine. The purpose of the present research was to increase the vase life of cut carnation flower using different putrescine concentrations and application methods.

Materials and Methods

A factorial experiment based on completely randomized design with 10 treatments in 3 replicates, 30 plots and 150 cut flowers was employed to investigate the effect of different concentrations of putrescine (0.01, 0.02 and 0.05 mM) and its application methods (continuous, pulse and spray) on vase life of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers. Some other traits such as water uptake, dry mater percentage, decrease of fresh weight, the content of leaf chlorophyll and sepal carotenoid, POD and SOD enzymes activity, MDA, decrease of °Brix (sucrose percentage in flower stalk, soluble sugar in stem end and sepal), ionic leakage, ethylene were also measured. The statistical analysis of data was performed using SAS. The least significant difference (LSD) test at $P < 0.05$ was used for comparisons of different means of various treatments.

Results and Discussion

Results showed that the maximum vase life was recorded in cut flowers treated with 0.02 mM putrescine as

1, 2 and 3- M.Sc. and Associate Professors, Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: davoodhashemabadi@iaurasht.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2021.71518.1075

spray application. The lowest ethylene production, the highest water uptake and superoxide dismutase enzyme activity was observed in 0.02 mM putrescine treatment. Some physiological parameters and enzymatic activity were also evaluated. The control treatment generally yielded the minimum values for most of the observed traits. Factors such as water stress, reduced carbohydrate levels, increased ethylene production, and the presence of microorganisms play pivotal roles in reducing the vase life of cut flowers. Polyamines are key in counteracting these stressors and delaying aging. They fulfill this role by fortifying the plasma membrane, suppressing the activity of hydrolytic enzymes, and inhibiting ethylene synthesis. Additionally, polyamines bind to cell wall pectin, safeguarding them from detrimental cell wall enzymes, including pectinase. They further impede flower maturation by inhibiting the production of essential enzymes required for ethylene synthesis and by dampening ethylene activity. Increasing polyamines by inhibiting lipid peroxidation is probably one of the mechanisms responsible for the anti-aging effect of polyamines. Polyamines have antioxidant properties so they reduce the number of oxygen free radicals and the permeability of plasma membranes by decreasing the activity of lipoxygenase, thereby increasing the vase life and quality of flowers. The use of polyamines to increase the vase life of some cut flowers has been reported, which the results of the present study are consistent with the results of these studies. Treatment of 20 mg l^{-1} spermine and 10 mg l^{-1} putrescine had the greatest effect on increasing vase life and reducing senescence of cut *Alstroemeria* flowers. Spermidine delayed the aging of carnation flowers. In cut rose cv. 'Doles Vita' flowers, the use of polyamines increased vase life. Treatment of 2 mM spermidine was the most suitable treatment to increase the vase life of cut carnation cv. 'Red Corsa' flowers. Cut rose flowers treated with humic acid and putrescine had the highest vase life compared to the control. Polyamines increased the vase life of cut gladiolus flowers by increasing the stability of plasma membranes. The addition of polyamines to the carnation flower preservative solution reduced their aging and prevented the production of ethylene. Polyamines appear to increase vase life in cut flowers by inhibiting ACC-synthase activity and reducing ethylene production. SOD, POD and catalase (CAT) enzymes, as antioxidant compounds, protect plants against reactive oxygen species and free radicals. Polyamines neutralize free radicals and are also involved in the synthesis of enzymes. Binding of polyamines to proteins protects them from the damaging effects of reactive oxygen species and free radicals. Treatment of 20 mg l^{-1} spermine increased the activity of SOD enzyme in cut *Alstroemeria* flowers. Concentrations of 10 and 20 mg l^{-1} putrescine and spermine significantly increased catalase activity. Spermidine treatment significantly increased the activity of free radical scavenging enzymes such as SOD and CAT. Putrescine in sunflower stimulated the catalase enzyme. At the first onset of senescence, antioxidant enzymes such as POD increase in petal cells to reduce the damaging effects of reactive oxygen species.

Keywords: Climacteric flower, Ethylene, Polyamine, Postharvest longevity

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص. ٦١٤-٥٩٩

اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر عمر گلجایی، برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیمی میخک (*Dianthus caryophyllus* L.)

سید عباس راضی[1]- داود هاشم‌آبادی[2]*- بهزاد کاویانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۲

چکیده

میخک (*Dianthus caryophyllus* L.) یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه‌بریده‌ی جهان است که ارزش بالایی در صنعت گلکاری دارد. این گل فرازگرا به اتیلن و تنش آبی پس از برداشت بسیار حساس است و عمر گلجایی نسبتاً پایینی دارد. بیشتر اثرات منفی روی گل‌های شاخه‌بریده ناشی از تولید اتیلن است. استفاده از ترکیبات کاهنده یا ممانعت‌کننده‌ی سنتز اتیلن راهی مؤثر در افزایش عمر پس از برداشت میخک است. هدف از پژوهش حاضر، افزایش عمر گلجایی گل شاخه‌بریده‌ی میخک رقم 'تمپو' با استفاده از مقادیر ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین و روش‌های کاربرد پیوسته، پالس و اسپری بود. یک آزمایش بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار در ۳ تکرار و ۱۵۰ شاخه گل انجام شد. در این پژوهش، صفات عمر گلجایی، درجه بریکس، جذب آب، کاهش وزن تر، درصد ماده خشک، کاروتنوئید گلبرگ، کلروفیل برگ، نشت یونی، آنزیم پراکسیداز، آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و اتیلن اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بیشترین عمر گلجایی (۱۴ روز) در گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با ۰/۰۲ میلی‌مولار پوترسین به صورت اسپری (محلول‌پاشی) مشاهده شد. این تیمار همچنین باعث تولید کمترین اتیلن (۲/۳۶ نانولیتر در لیتر در ساعت در گرم وزن تر)، بیشترین جذب آب (۱/۸۸ میلی‌لیتر در هر گرم وزن تر) و بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۲۳/۰۴ واحد آنزیم در هر گرم وزن تر) گردید. برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و فعالیت آنزیمی دیگر نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. در صفات عمر گلجایی، جذب آب، درجه‌ی بریکس، درصد ماده‌ی خشک، میزان کاروتنوئید و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز، کمترین ارزش در گل‌های شاخه‌بریده‌ی شاهد ثبت شد.

واژه‌های کلیدی: اتیلن، پلی‌آمین، عمر پس از برداشت، گل فرازگرا

مقدمه

میخک با نام علمی *Dianthus caryophyllus* L. از خانواده‌ی Caryophyllaceae، گیاهی چند ساله با ساقه‌های منشعب است. میخک یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه‌بریده‌ی جهان است. این گل، فرازگرا و به اتیلن بسیار حساس می‌باشد (Hashemabadi, 2011). بیشتر اثرات منفی روی گل‌های شاخه‌بریده ناشی از تولید اتیلن است. اتیلن مسئول بیان برخی ژن‌های مرتبط با پیری است و این ژن‌ها در بیوسنتز اتیلن نقش اساسی دارند. تیمارهای ضد اتیلن در چرخه‌ی پس از برداشت گل‌ها و میوه‌ها جایگاه ویژه‌ای دارند (Lee Kamiab, 2016; *et al*., 1997).

پلی‌آمین‌ها شامل پوتریسین (دی‌آمین)، اسپرمیدین (تری‌آمین) و اسپرمین (تترا‌آمین) به عنوان یک گروه جدید از مواد تنظیم‌کننده‌ی رشد

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب کارشناس ارشد و دانشیاران، گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: davoodhashemabadi@iaurasht.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jhs.2021.71518.1075

گیاهی در فرآیندهای مختلف از جمله افزایش تقسیم سلولی، افزایش بیوسنتز آنزیم، تنظیم مراحل نموی مختلف، تمایز، گلدهی، جنین‌زایی، ریشه‌زایی و بلوغ دخالت دارند (Anjum, 2011) و از طریق رقابت با تولید اتیلن، خاصیت ضد پیری خود را اعمال می‌کنند (Kandil *et al.*, 2011). پلی‌آمین‌ها، پلی‌کاتیون‌های آلی با وزن مولکولی کم و با گروه های نیتروژنی آلیفاتیک هستند که دارای حلقه‌های هیدروکربنی متفاوت و دو یا چند گروه آمینی (عامل بارهای مثبت) می‌باشند. این ترکیبات آلی با غشای سلولی، اسید نوکلئیک و دیگر درشت‌ملکول‌ها پیوند برقرار می‌کنند و در تشکیل کروماتین، کنترل کانال‌های یونی، خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد و کنترل بیان ژن‌ها دخالت دارند و با حفظ استحکام و ثبات غشای سلولی نقش مهمی در افزایش عمر پس از برداشت محصولات باغبانی ایفا می‌کنند (Casiro and Marton, 2007;Kandil *et al.*, 2011; Hashemabadi, 2012). پوتریسین، اصلی‌ترین پلی‌آمین در گیاهان است که پیش‌ماده‌ی سنتز اسپرمیدین و اسپرمین می‌باشد.

اثر مثبت پوتریسین در افزایش عمر گلجایی برخی گل‌های شاخه بریده مانند داوودی، گلایول، رز و آلسترومریا گزارش شده است (Abbasi *et al.*, 2017; Bregoli *et al.*, 2002; Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014; Galston and Kaur-Sawhney, 1990; Kandil *et al.*, 2011; Sivaprakasam *et al.*, 2009; Soleimany-Fard *et al.*, 2014). محلول‌پاشی با انواع پلی‌آمین‌ها (اسپرمین و پوترسین در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و اسپرمیدین در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) روی میخک رقم "رد کورسا" نشان داد که تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار باعث بیشترین عمر گلجایی، جذب محلول، درصد ماده‌ی خشک و میزان صفات فیزیولوژیک مانند مواد جامد محلول، پروتئین و کلروفیل و کمترین تولید اتیلن شد (Kamiab, 2016). در مطالعه‌ی این محققان مشخص شد که همه‌ی تیمارها باعث افزایش معنی‌دار در میزان جذب محلول شدند. مطالعه روی گل شاخه‌بریده‌ی رز رقم "دولس ویتا" نشان داد که طولانی‌ترین عمر گلجایی در گل‌های تیمارشده با ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک به دست آمد. همچنین، بیشترین وزن تر و خشک گل شاخه‌بریده و غلظت کلروفیل برگ در تیمار ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک بود (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014). ارزیابی اثر سه نوع پلی‌آمین (پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین) در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار به صورت پالس ۲۴ ساعته روی گل شاخه‌بریده‌ی میخک رقم "اسپات‌لایت" نشان داد که همه‌ی غلظت‌های تیمار پوتریسین، عمر گلجایی را نسبت به شاهد افزایش دادند (Karimi *et al.*, 2017). بر این اساس، طولانی‌ترین عمر گلجایی (با ۱۳ روز) در گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با ۲ میلی‌مولار پوتریسین به دست آمد. تیمار پوتریسین و اسپرمین در غلظت ۱ یا ۲ میلی‌مولار به طور معنی‌داری درصد کاهش مواد محلول را نسبت به شاهد کمینه کرد. غلظت‌های ۱ یا ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۱ میلی‌مولار اسپرمین مانع تجزیه‌ی رنگدانه‌ی آنتوسیانین شدند. همچنین، فعالیت بالاتر آنزیم کاتالاز با تیمار ۱ میلی‌مولار پوتریسین مشاهده شد (Karimi *et al.*, 2017). پوتریسین در غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عمر گلجایی گل شاخه‌بریده‌ی داوودی را افزایش داد که این افزایش توسط افزایش در وزن نسبی و کاهش پژمردگی این گل‌ها حاصل شد (Sedaghathoor *et al.*, 2020). در مطالعه‌ی دیگر نیز اسپرمین پیری گل میخک را به تأخیر انداخت و تولید اتیلن را کاهش داد (Lee *et al.*, 1997).

با توجه به نقش اتیلن در پیری گل شاخه‌بریده‌ی میخک و همچنین اثر متضاد اتیلن و پلی‌آمین‌ها در پیری و کاهش ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده (Kandil *et al.*, 2011; Kamiab, Lee *et al.*, 1997 2016)، هدف از پژوهش حاضر، بررسی و مقایسه‌ی اثر مقادیر و روش-های مختلف کاربرد پوتریسین بر ماندگاری و افزایش کیفیت پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده‌ی میخک رقم "تمپو" بود.

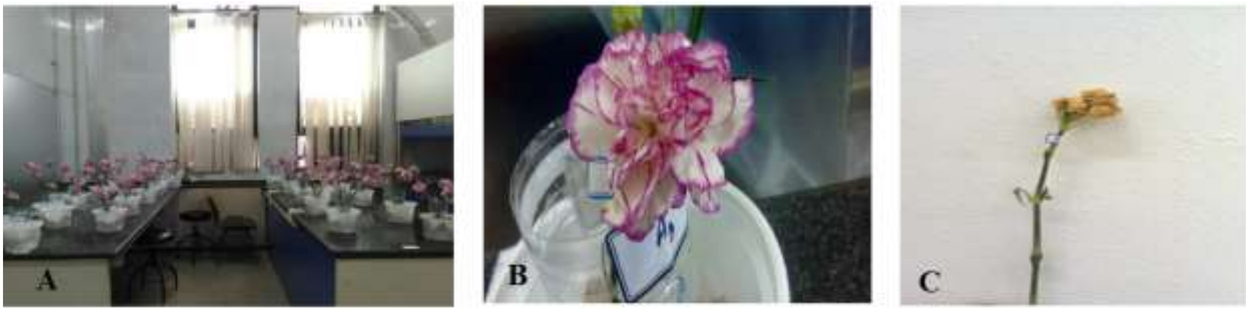
مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

گل‌های شاخه‌بریده‌ی میخک رقم 'تمپو' (*Dianthus caryophyllus* L., cv. Tempo) در سال ۱۳۹۵ از گلخانه‌ای در شهر محلات تهیه شدند. حدود ۳۰ درصد گل شاخه‌بریده‌ی اضافی خریداری شد تا با حذف گل‌های نامطلوب، به تعداد کافی گل کاملاً سالم در اختیار باشد. بعد از خریداری، گل‌های شاخه‌بریده بلافاصله به آزمایشگاه پس از برداشت دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت منتقل شدند. تمام گل‌ها به منظور جلوگیری از انسداد آوندی، از ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری در زیر آب بازبرش شدند. سپس برگ‌های پایینی شاخه‌ها حذف شدند و پس از توزین، داخل محلول‌های گلجا قرار گرفتند (شکل ۱A).

نحوه‌ی آماده‌سازی گل‌ها و انجام تیمار با پوتریسین

پنج شاخه‌ی گل در گلدان‌های پلاستیکی به حجم نیم لیتر قرار داده شدند و به صورت پیوسته، پالس و اسپری (محلول‌پاشی) تحت تیمار پوتریسین قرار گرفتند. در روش پالس، گل‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون پوتریسین قرار داده شدند، سپس به محلول حاوی آب و قند و میکروب‌کش منتقل گردیدند. در روش پیوسته، گل‌ها از روز اول تا آخر (پایان عمر گلجایی) درون محلول حاوی پوتریسین قرار داده شدند. در روش اسپری، روز اول روی گل‌ها و برگ‌ها محلول پوتریسین اسپری شد.



شکل ۱- اتاق پس از برداشت حاوی گل‌های شاخه‌بریده‌ی میخک رقم 'تمپو' قرار داده شده در ظروف گلجایی پرشده با محلول ضدعفونی‌کننده و تیمار اسپری ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین (A)؛ گل شاخه‌بریده‌ی سالم میخک در محلول گلجایی (B)؛ گل شاخه‌بریده‌ی پژمرده (C)

Figure 1- Postharvest room containing cut carnation flowers cv. Tempo putted on vase pots filled out with disinfected solution treatment of 0.05 mM putrescine (A); healthy cut flower on vase solution (B); wilted cut flower (C)

پیاده‌کردن طرح آزمایشی و معرفی تیمارها

به منظور مقایسه‌ی اثر غلظت‌های مختلف پوتریسین (۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۵ میلی‌مولار) و روش‌های مختلف استفاده از آن (پالس، پیوسته و اسپری)، یک آزمایش بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار (۹ تیمار آزمایشی + شاهد) و ۳ تکرار در مجموع با ۱۵۰ شاخه گل بریده‌ی میخک انجام شد.

مشخصات محل نگهداری گل‌ها

محل نگهداری گل‌های شاخه‌بریده دارای دمای ۲ ± ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، رطوبت ۷۰-۶۵ درصد، نور ۲۰-۱۵ میکرومول بر ثانیه بر متر مربع و طول روز ۱۲ ساعت بود. آزمایش حاضر به مدت ۱۴ روز به طول انجامید که مطابق با عمر گلجایی گل‌ها بود.

صفات اندازه‌گیری‌شده

عمر گلجایی

عمر گلجایی در پایان آزمایش (در زمان پژمردگی آخرین گل در هر پلات) بر اساس ظهور علائمی مانند پیچیدگی گلبرگ‌ها به طرف داخل و پژمردگی گل‌ها که منجر به کاهش جذابیت و بازارپسندی می‌گردد، بر اساس تعداد روز برای کل گل‌ها محاسبه شد (شکل ۱B و ۱C).

افزایش درجه‌ی بریکس

برای اندازه‌گیری این صفت، از برش‌های کوچک انتهای شاخه‌ها استفاده شد. یک یا دو قطره از آب موجود در قطعات مذکور، روی صفحه‌ی شیشه‌ای رفرکتومتر مدل N-1a ساخت شرکت ATAGO کشور ژاپن چکانده شد و درجه‌ی بریکس آن قرائت گردید و با کسر درجه‌ی بریکس روز آخر از درجه‌ی بریکس روز اول، افزایش درجه بریکس محاسبه شد.

جذب آب

برای اندازه‌گیری میزان تبخیر محلول نگهدارنده در نقاط مختلف اتاق ارزیابی عمر پس از برداشت، گلدان‌های حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول نگهدارنده (آب + ۳ درصد ساکارز + ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ۸-هیدروکسی‌کوئینولین سولفات) قرار داده شدند. با توجه به حجم محلول باقیمانده در گلجای و حجم اولیه (۵۰۰ میلی‌لیتر) و با توجه به میزان تبخیر اتاق (میانگین تبخیر ۴ ظرف بدون گل در نقاط مختلف اتاق عمر گلجایی) مقدار جذب آب از فرمول زیر برآورد گردید.

وزن تر گل‌ها ÷ (مقدار تبخیر اتاق + محلول باقیمانده در پایان عمر گلجایی) — ۵۰۰ = جذب آب ($mL.g^{-1}$ FW)

کاهش وزن تر

وزن تر شاخه‌های گل پس از پایان عمر گلجایی به کمک ترازو اندازه‌گیری شد. با توجه به وزن اولیه‌ی گل و وزن برش‌های مجدد، کاهش وزن تر شاخه‌های گل محاسبه گردید.

(وزن باز برش‌ها + وزن تر نهایی) — وزن تر اولیه =کاهش وزن تر

ملاک پژمردگی گل میخک، خمیدگی به سمت داخل گلبرگ‌ها است و اگر ۵۰ درصد گلبرگ‌ها دچار خمیدگی، پژمردگی و رنگ‌پریدگی شوند، نشانه‌ی پایان عمر گلجایی می‌باشد.

درصد ماده‌ی خشک

به این منظور، در پایان عمر گلجایی، وزن تر گل‌ها اندازه‌گیری شد و گل‌ها داخل آون ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. پس از توزین، مجدداً گل‌ها در آون قرار گرفتند و ۲۴ ساعت بعد توزین شدند. از آنجایی که تغییر وزنی در گل‌های خشک‌شده طی ۲۴

ساعت اول و دوم مشاهده نشد، از قراردادن گل‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در آون خودداری شد. به عبارت دیگر، در ۲۴ ساعت اول نمونه‌ها کاملاً خشک شدند. درصد ماده‌ی خشک گل‌های شاخه‌بریده از فرمول زیر محاسبه گردید.

۱۰۰ × (وزن تر ÷ وزن خشک پایان عمر گلجایی) = درصد ماده خشک

کاروتنوئید گلبرگ

به‌منظور استخراج رنگیزه کاروتنوئید، در روز پنجم یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و رنگیزه کاروتنوئید گلبرگ با استفاده از روش مزمودار و مجومدار (Mazumdar and Majumdar, 2003) اندازه گیری شد. روز پنجم اولین علائم پژمردگی در برخی گلبرگ‌ها مشاهده شد ولی هنوز گل پژمرده محسوب نمی‌شود. بدین منظور، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ با ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (۸۰ میلی‌لیتر استون و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) در هاون چینی عصاره‌گیری شد. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. سپس مقدار رنگیزه به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۴۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد و در نهایت با کمک فرمول زیر مقدار کاروتنوئید گلبرگ بر حسب میکروگرم در هر گرم وزن تر محاسبه گردید.

کاروتنوئید = ۴/۶۹ + A_{440} −۰/۲۶۸ ×(۲۰/۲) (A_{645}) + (۸/۰۲) (A_{663})

کلروفیل a، b و کل برگ

به‌منظور استخراج رنگیزه کلروفیل، در روز پنجم یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و مقدار کلروفیل a، b و کل برگ‌ها با استفاده از روش مزمودار و مجومدار (Mazumdar and Majumdar, 2003) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۰/۵ گرم از بافت برگ با ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (۸۰ میلی‌لیتر استون و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) در هاون چینی عصاره‌گیری شد. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن صاف شد. سپس مقدار رنگیزه کلروفیل به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۰ و ۶۴۳ نانومتر قرائت شد و در انتها با کمک فرمول زیر مقدار کلروفیل a، b و کل برگ بر حسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر محاسبه شد.

کلروفیل a = ۹/۹۳ (A_{660}) −۰/۷۷۷ (A_{643})

کلروفیل b = ۱۷/۶ (A_{643}) −۲/۸۱ (A_{660})

کلروفیل کل = ۷/۱۲ (A_{660}) −۱۶/۸ (A_{643})

نشت یونی

نیم گرم برگ از هر پلات با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر دوبار تقطیرشده داخل ظروف در بسته در دمای آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و سپس با دستگاه ECسنج میزان EC اولیه (EC_1) آن محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان EC ثانویه (EC_2)، نیم گرم برگ به مدت ۲۴ ساعت منجمد گردید و بعد از آن دوباره برگ‌ها در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و سپس با دستگاه اعداد آن خوانده شد. نشت یونی از فرمول زیر محاسبه گردید.

نشت یونی = $EC_1 \div EC_2 \times 100$

پراکسیداسیون لیپیدی

برای اندازه‌گیری مالون دی آلدهید (MDA)، گلبرگ‌ها با مشاهده ی اولین علائم پژمردگی در اتاق عمر گلجایی جدا شدند و با روش هیت و پارکر (Heath and Parcker, 1968) اندازه‌گیری MDA انجام شد. به این منظور، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ در روز پنجم آزمایش از شاخه گل جدا و به کمک نیتروژن مایع عصاره‌گیری شد. به عصاره حاصل، یک میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. محلول رویی نمونه‌ها توسط سمپلر جدا و مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد عمل سانتریفیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) انجام شد. پس از آن به محلول رویی، ۱۰۰۰ میکرولیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۲۰ درصد و ۰/۵ درصد تیوباربوتیریک اسید (TBA) اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه داخل حمام آب (۹۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و سپس به یخ منتقل شد. پس از این مرحله، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) شدند. ماده‌ی قرمز رنگ رویی جدا شد و میزان جذب ماده قرمز رنگ مالون دی آلدئید – تیوباربیوتیک اسید (MDA-TBA) تولید شده به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر و جذب سایر رنگیزه‌های اختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید

آنزیم پراکسیداز (POD)

برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) در روز هفتم عمر گلجایی، یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و اندازه‌گیری به روش ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2011) انجام شد. برای این منظور، از بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷) حاوی EDTA ۰/۵ میلی مولار و پلی‌وینیل پولی‌پیرولیدین (PVPP) ۲ درصد استفاده گردید. مقدار ۴۵۰ میکرولیتر محلول H_2O_2 (۲۲۵ میلی‌مولار) و ۴۵۰ میکرولیتر محلول گایاکول (۲۲۵ میلی‌مولار) در دمای پایین (ظرف حاوی یخ) با هم مخلوط گردیدند و به آن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد و تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در محلول بلانک به جای عصاره‌ی آنزیمی، ۱۰۰ میکرولیتر از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH۷) استفاده شد. در نهایت فعالیت آنزیم بر حسب $nmol.g^{-1}$ FW بیان گردید.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

برای بررسی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در روز هفتم عمر گلجایی، یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و به روش اسپکتروفتومتری و با استفاده از روش ژیانوپلیتیس و رایس (Giannopolitis and Ries, 1997) با کمی تغییر، فعالیت SOD اندازه‌گیری شد. نمونه‌های بافت در داخل یک هاون و به کمک نیتروژن مایع آسیاب شدند و به دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. مقدار ۰/۵ گرم از بافت منجمدشده با یک میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۵ مول، ۰/۱ گرم PVPP در pH ۷ رقیق شد. پس از هموژنایز کردن توسط هموژنایزر (مدل IKA-T8، ساخت آلمان)، نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شدند. محلول رویی به آرامی برداشته شد و با ریختن در تیوب بلافاصله به دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد تا اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی منتقل شد. محلول واکنش شامل EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، NBT ۷۵ میکرومولار و ریبوفلاوین ۲ میکرومولار (مجموعاً به اندازه یک میلی‌لیتر) و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تیوب‌های حاوی محلول واکنش به مدت ۱۵ دقیقه در حالی که به آرامی تکان داده می‌شدند، در معرض نور فلورسانس (یک عدد لامپ فلورسانس حدود ۴۰۰ لوکس) و دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. واکنش با انتقال تیوب‌ها به شرایط تاریکی متوقف گردید و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد. برای سنجش فعالیت این آنزیم علاوه بر کووت‌های نمونه و بلانک از کووت شاهد نیز استفاده شد که محتوای واکنشی نمونه بلانک و شاهد مشابه نمونه اصلی است با این تفاوت که هر دو نمونه‌ی مذکور فاقد آنزیم بودند. لازم به ذکر است که نمونه کنترل به همراه نمونه‌های دیگر در معرض نور قرار می‌گیرد و نمونه بلانک در تاریکی قرار داده می‌شود. برای هر نمونه سه قرائت بدون خطا ثبت شد. هر واحد فعالیت SOD عبارت است از مقداری از آنزیم که برای ۵۰ درصد مهار احیای فتوشیمیایی NBT تحت شرایط سنجش نیاز است. فعالیت این آنزیم به صورت واحد آنزیم در گرم وزن تر ($IU\ g^{-1}$ F.W.) بیان شد.

اندازه‌گیری اتیلن

مدت ۲۴ ساعت پس از اعمال تیمارها، یک شاخه گل از هر کرت انتخاب شد و در یک ظرف هوابندی‌شده به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. بعد از ۲۴ ساعت، از هوای داخل ظرف نمونه‌گیری شد و نمونه‌های گاز برای آنالیز مقدار اتیلن به آزمایشگاه تجزیه‌ی گاز دانشگاه تهران منتقل شدند. اندازه‌گیری مقدار اتیلن تولیدشده با کمک دستگاه GC-8 AIT مدل Shimadzu انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آنالیز داده‌ها به کمک نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عمر گلجایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر عمر گلجایی گل شاخه‌بریده‌ی میخک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد پوتریسین در غلظت‌ها و روش‌های مختلف، عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد افزایش داد. عمر گلجایی بالا (۱۴ و ۱۳/۳۲ روز) به ترتیب با کاربرد ۰/۰۲ و ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین به صورت اسپری به دست آمد. عمر گلجایی (۸/۳۲ و ۸/۶۶ روز) به ترتیب در گل‌های شاخه‌بریده‌ی شاهد و تیمارشده با ۰/۰۱ میلی‌مولار پوتریسین به صورت پیوسته پایین بود (جدول ۲).

تنش آبی، کاهش کربوهیدرات‌ها، تولید اتیلن و حضور میکروارگانیزم‌ها از مهم‌ترین عوامل کاهش عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده هستند. پلی‌آمین‌ها نقش ضد تنش و ضد پیری دارند که این فرآیندهای تنظیم‌کنندگی را با استحکام‌بخشی به غشای پلاسمایی، ممانعت از فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک و ممانعت از سنتز اتیلن ایفا می‌کنند (Kakkar and Sawhney, 2003; Lee *et al.*, 1997; Perez-Vicente *et al.*, 2002). پلی‌آمین‌ها همچنین با اتصال به ترکیبات پکتیک دیواره‌ی سلولی، از آن‌ها در برابر آنزیم‌های مخرب دیواره‌ی سلولی از جمله پکتیناز محافظت می‌کنند (Alborz *et al.*, 2015; Apel and Hirt, 2004; Martinez-Tellez *et al.*, 2002). پلی‌آمین‌ها بلوغ گل را با ممانعت از تولید آنزیم‌های ضروری برای سنتز اتیلن به تعویق می‌اندازند و از فعالیت اتیلن جلوگیری می‌کنند (Sood and Nagar, 2003). افزایش پلی‌آمین‌ها با ممانعت از پراکسیداسیون لیپید احتمالاً یکی از مکانیزم‌های مسئول اثر ضد پیری پلی‌آمین‌ها است (Borrell *et al.*, 1997; Yang *et al.*, 2000). پلی‌آمین‌ها با دارابودن خاصیت آنتی‌اکسیدانی، از تعداد رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌کاهند، همچنین با کاهش فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز، تراوایی غشای پلاسمایی را افزایش می‌دهند و در نتیجه باعث افزایش عمر گلجایی و کیفیت گل‌های شاخه‌بریده می‌شوند (Lee *et al.*, 1997). استفاده از پلی‌آمین ها برای افزایش عمر گلجایی برخی گل‌های شاخه‌بریده از جمله گلایول و رز گزارش شده است (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014; Hosseini Farahi and Zadehbagheri, 2016; Dantuluri *et al.*, 2008; Sood and Nagar, 2003; Tassoni *et al.*, 1998)، که نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج این پژوهش‌ها همخوانی دارد. تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین

بیشترین تأثیر را در افزایش عمر گلجایی و کاهش پیری گل شاخه بریده‌ی آلسترومریا داشتند (Alborz *et al*., 2015). مطالعه‌ی اثر محلول‌پاشی با انواع پلی‌آمین‌ها (اسپرمین و پوترسین در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و اسپرمیدین در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) روی میخک رقم "رد کورسا" نشان داد که تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار بالاترین عمر گلجایی و همچنین کمترین میزان تولید اتیلن را سبب شد (Kamiab, 2016). در مطالعه‌ی دیگر نیز اسپرمین پیری گل میخک را به تأخیر انداخت و تولید اتیلن را کاهش داد (Lee *et al*., 1997). در گل شاخه‌بریده‌ی رز رقم "دولس ویتا"، کاربرد پلی آمین‌ها (اسپرمیدین در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و اسپرمین در غلظت ۱ میلی‌مولار) باعث افزایش عمر گلجایی شد (Hosseini Farahi and Zadehbagheri, 2016). تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار مناسب‌ترین تیمار برای افزایش عمر گلجایی گل شاخه‌بریده‌ی میخک رقم "رد کورسا" بود (Kamiab, 2016). گل‌های شاخه‌بریده‌ی رز تیمارشده با ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هومیک و ۲ میلی‌مولار پوتریسین بیشترین میزان عمر گلجایی (۱۴/۲۵ روز) را نسبت به شاهد داشتند (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014).

پلی‌آمین‌ها از طریق افزایش پایداری غشای پلاسمایی، باعث افزایش عمر گلجایی گل شاخه‌بریده‌ی گلایول شدند (Kakkar, 2002). عمر گلجایی گل شاخه‌بریده‌ی داودی با استفاده از ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین توسط افزایش وزن و کاهش پژمردگی افزایش یافت (Sedaghathoor *et al*., 2020). افزودن پلی‌آمین‌ها (اسپرمین، اسپرمیدین و پوترسین در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) به مدت ۲۴ ساعت به صورت پالس به محلول نگهدارنده‌ی گل شاخه-بریده‌ی میخک (غوطه‌وری)، پیری آن‌ها را نسبت به شاهد کاهش دادند و از تولید اتیلن ممانعت کردند (Karimi *et al*., 2017). بررسی این محققان نشان داد که بالاترین عمر گلجایی (۱۳ روز) در گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین به دست آمد. به نظر می‌رسد پلی‌آمین‌ها با ممانعت از فعالیت آنزیم ACC–سینتاز و کاهش تولید اتیلن باعث افزایش عمر گلجایی در گل‌های شاخه‌بریده می‌شوند (Lee *et al*., 1997).

پوتریسین باعث حفظ قندهای کاهنده و پروتئین‌های محلول و اصلاح وزن تر و جذب محلول در گل‌های شاخه‌بریده می‌شود. این پلی‌آمین همانند سایر پلی‌آمین‌ها در بسیاری از فرآیندهای زیستی از جمله رشد و نمو، پاسخ به تنش‌های محیطی، کاهش میزان تنفس، ممانعت از تغییرات رنگ، افزایش بیوسنتز و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها به ویژه آنزیم‌ها، تقسیم سلولی و تمایزیابی نقش دارند (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014; Kamiab, 2016; Karimi *et al*., 2017). افزایش در عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده با استفاده از پوتریسین و سایر پلی‌آمین‌ها می‌تواند به دلیل ممانعت‌کردن از تولید اتیلن باشد، زیرا مسیرهای بیوسنتز پلی‌آمین‌ها و اتیلن با یکدیگر مرتبط هستند که از رقابت برای پیش‌ساز مشترک یعنی S–آدنوزیل‌متیونین (SAM) منتج می‌شود. بنابراین، یک مسیر بیوسنتزی تحریک و مسیر دیگر ممانعت می‌شود (Karimi *et al*., 2017).

جذب آب

اثر تیمارهای مختلف روی جذب آب در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف پوتریسین بر جذب آب گل شاخه‌بریده‌ی میخک نشان داد که همه‌ی تیمارها عملکرد مطلوب‌تری نسبت به شاهد داشتند. طبق جدول ۲، جذب آب (۱/۸۸ و ۱/۸۳ میلی‌لیتر در هر گرم وزن تر)، به ترتیب در تیمارهای اسپری ۰/۰۲ میلی‌مولار پوتریسین و تیمار اعمال پیوسته با غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار بالاتر از تیمارهای دیگر بود. این مقادیر جذب حدود ۰/۴۵ میلی‌لیتر در هر گرم وزن تر بیشتر از جذب آب (۱/۳۹ میلی‌لیتر در هر گرم وزن تر) در گل‌های شاخه‌بریده‌ی شاهد بود. تیمار شاهد با تیمار پالس ۰/۰۱ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار نداشت.

کوتاهی ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده را می‌توان به عوامل مختلفی نسبت داد که یکی از آن‌ها تعادل نامناسب آب یعنی اختلاف بین میزان جذب و دفع آب است (Hutchinson *et al*., 2003). تیمار پلی‌آمین‌ها روی گل شاخه‌بریده‌ی گلایول سبب افزایش جذب آب و مواد محلول نگهدارنده گردید (Dantuluri *et al*., 2008; Sivaprakasam *et al*., 2009). محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین روی گل شاخه‌بریده‌ی میخک باعث افزایش معنی‌دار پارامترهای رشد از جمله جذب آب شد (Mahgoub *et al*., 2006). تیمار پوتریسین همراه با سوکروز جذب محلول گلجا در گل شاخه‌بریده ی ژربرا را بالا برد (Keshavarzi, 2014). اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار مناسب‌ترین تیمار برای افزایش جذب محلول در گل شاخه‌بریده‌ی میخک رقم "رد کورسا" بود (Kamiab, 2016).

تولید اتیلن

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر تیمارهای مختلف روی میزان تولید اتیلن در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) اثر تیمارهای مختلف پوتریسین بر تولید اتیلن نشان داد که بیشترین مقدار تولید اتیلن در گل‌های شاخه‌بریده‌ی شاهد با ۷/۴۶ نانولیتر در لیتر در ساعت در گرم وزن تر مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار پیوسته ۰/۰۱ میلی‌مولار نداشت. به عبارتی، گیاهان شاهد، علی‌رغم ۲۵ درصد افزایش تولید اتیلن نسبت به تیمار پیوسته ۰/۰۱ میلی‌مولار، اختلاف معنی‌داری با آن نداشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر عمر گلجایی و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و آنزیمی گل شاخه‌بریده‌ی میخک (*Dianthus caryophyllus* L.) رقم 'تمپو'

Table 1- ANOVA (mean of squares) for the effect of different concentrations and methods of putrescine application on vase life and some physiologic and enzymatic parameters of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flower cv. Tempo

منابع تغییرات Source of variations	درجه‌ی آزادی df	SOD	POD	MDA	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	نشت یونی Ionic leakage	درصد ماده خشک Dry material percentage	کاهش وزن تر Decrease of fresh weight	درجه‌ی بریکس °Brix	اتیلن Ethylene	جذب آب Water uptake	عمر گلجایی Vase life
تیمارها Treatments	9	6.97**	0.528**	5.45**	4.90**	0.384*	14.66**	2.42**	4.55**	1.39**	8.54**	0.043*	2.26**
خطا Error	20	0.90	0.104	0.903	0.70	0.128	1.35	0.29	0.77	0.27	0.915	0.013	0.34
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	4.67	9.04	4.84	18.19	12.35	11.07	2.88	22.25	22.17	21.07	6.92	10.95

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: significant at 5 and 1% of the probability leves, respectively

جدول ۲- تأثیر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر عمر گلجایی و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و آنزیمی گل شاخه‌بریده‌ی میخک (*Dianthus caryophyllus* L.) رقم 'تمپو'

Table 2- The effect of different concentrations and methods of putrescine application on vase life and some physiologic and enzymatic parameters of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flower cv. Tempo

تیمارها Treatments	SOD (enzyme unit.g^{-1} FW)	POD (nmol.g^{-1} FW)	MDA (nmol.g^{-1} FW)	کاروتنوئید Carotenoid (µg.g^{-1} FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	نشت یونی Ionic leakage (%)	ماده خشک Dry material (%)	کاهش وزن تر Decrease of fresh weight (g)	درجه‌ی بریکس °Brix	اتیلن Ethylene (nl.l/h/g F.W.)	جذب آب Water uptake (ml.g^{-1} FW)	عمر گلجایی Vase life (day)
شاهد Control	17.22d	2.96f	21.19ab	1.87c	2.48bc	16.37a	17.05f	6.45a	0.75d	7.46a	1.39c	8.32e
پیوسته ۰/۰۱ میلی‌مولار Continuous 0.01 mM	20.11bc	2.97f	21.40a	3.71b	2.90ab	10.56b	18.22de	4.26bc	2.61a-c	5.97ab	1.66ab	8.66e
پیوسته ۰/۰۲ میلی‌مولار Continuous 0.02 mM	18.96d	3.28d-f	19.71bc	3.80b	2.81a-c	10.10b	18.12de	3.59c	2.82a-c	5.12b	1.60b	10.66b-d
پیوسته ۰/۰۵ میلی‌مولار Continuous 0.05 mM	19.05cd	3.32c-f	17.55d	6.10a	2.83a-c	7.97c	20.14a	1.81d	3.06ab	2.86cd	1.83a	12.00b
پالس ۰/۰۱ میلی‌مولار Pulse 0.01 mM	20.89b	3.64b-e	20.81ab	4.72ab	2.85a-c	9.52bc	18.43c-e	4.14bc	2.76a-c	4.10c	1.59bc	9.00de
پالس ۰/۰۲ میلی‌مولار Pulse 0.02 mM	20.45bc	3.92ab	17.95d	4.71ab	3.93a	10.91b	19.00b-d	3.01cd	2.15c	2.97cd	1.69ab	11.00bc
پالس ۰/۰۵ میلی‌مولار Pulse 0.05 mM	20.87b	4.19a	20.13a-c	5.54a	2.25c	9.89bc	19.16bc	3.60c	2.20bc	5.80b	1.76ab	10.00c-e
اسپری ۰/۰۱ میلی‌مولار Spray 0.01 mM	20.84b	3.15ef	19.60bc	4.99ab	3.41a	9.85bc	18.09e	5.14ab	2.48a-c	3.57cd	1.68ab	11.66bc
اسپری ۰/۰۲ میلی‌مولار Spray 0.02 mM	23.04a	3.83a-c	18.90cd	6.11a	3.05ab	9.90bc	19.40ab	3.56c	3.13a	2.36d	1.88a	14.00a
اسپری ۰/۰۵ میلی‌مولار Spray 0.05 mM	21.50ab	3.70a-d	18.52cd	4.11b	2.99ab	10.38b	17.72ef	3.93bc	2.63a-c	3.97c	1.63b	13.32ab

حروف مشترک هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% of probably level by LSD test.

همچنین، کمترین اتیلن تولیدشده در تیمار اسپری ۰/۰۲ میلی‌مولار (۲/۳۶ نانولیتر در لیتر در ساعت در گرم وزن تر) دیده شد، اما تیمارهای اسپری ۰/۰۱ میلی‌مولار، پالس ۰/۰۲ میلی‌مولار و پیوسته ۰/۰۵ میلی‌مولار نیز اختلاف معنی‌داری با اسپری ۰/۰۲ میلی‌مولار نداشتند (جدول ۲).

اتیلن، عامل اصلی پیری در بسیاری از گل‌های شاخه‌بریده است (Reid, 2004). اتیلن و پلی‌آمین‌ها تأثیر متضادی در بلوغ و پیری گل و میوه دارند (Abu-Kpawoh *et al*., 2002). کاهش سطوح پلی‌آمین ها با افزایش تولید اتیلن مرتبط است که تعادل بین مقدار این دو تنظیم-کننده‌ی رشد برای تسریع یا تأخیر در فرآیندهای بسیار مهم و حیاتی گیاه مؤثر است (Khan *et al*., 2008). استفاده از پوتریسین، پیش و پس از برداشت، تولید اتیلن و میزان تنفس را به تأخیر می‌اندازد یا متوقف می‌کند (Khan *et al*., 2008). پلی‌آمین‌ها با جلوگیری از نسخه‌برداری، تولید و فعالیت آنزیم ACC–سنتاز، تولید اتیلن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. توانایی پلی‌آمین‌ها در متوقف‌کردن فعالیت آنزیم ACC–اکسیداز با از بین بردن رادیکال‌های آزاد سوپر اکسید که برای تبدیل ACC به اتیلن ضروری‌اند، به کاهش تولید اتیلن منجر می‌شود (Drolet *et al*., 1986). مطالعه‌ی اثر محلول‌پاشی با اسپرمین و پوترسین در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار و اسپرمیدین در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار روی میخک رقم "رد کورسا" نشان داد که تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار باعث تولید کمترین میزان اتیلن شد (Kamiab, 2016). در مطالعه‌ی دیگر نیز اسپرمین تولید اتیلن را در گل شاخه‌بریده‌ی میخک کاهش داد (Lee *et al*., 1997). کاربرد پلی آمین‌ها (به ویژه اسپرمین در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار) تولید اتیلن را در گل شاخه‌بریده‌ی رز کاهش داد (Costa *et al*., 2002). پوتریسین به دلیل کاهش تولید اتیلن و افزایش مقدار پروتئین در گلبرگ باعث افزایش عمر گلجایی گل شاخه‌بریده‌ی داودی شد (Mahros *et al*., 2011). تیمار گل‌های شاخه‌بریده‌ی رز رقم "بلامی" با ۰/۱ میلی‌مولار بر لیتر اسپرمین از تولید اتیلن ممانعت کرد (Yang *et al*., 2000).

افزایش درجه‌ی بریکس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر افزایش درجه‌ی بریکس گل شاخه‌بریده‌ی میخک در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد پوتریسین در غلظت‌ها و روش‌های مختلف، درجه‌ی بریکس گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد افزایش داد. ارزش درجه‌ی بریکس با ۳/۱۳ و ۳/۰۶ درصد، به‌ترتیب در گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با ۰/۰۲ میلی‌مولار پوتریسین به صورت اسپری و ۰/۰۵ میلی‌مولار به صورت پیوسته بالاتر از بقیه‌ی تیمارها بود و با آنها اختلاف معنی‌دار داشتند. افزایش کم درجه‌ی بریکس (۰/۷۵ درصد) مربوط به گل‌های شاخه‌بریده‌ی شاهد بود (جدول ۲).

ناتوانی اندامک‌های درون‌سلولی در استفاده از قند ذخیره در سلول‌ها به ویژه در واکوئل باعث افزایش روند پژمردگی و پیری گل‌های شاخه بریده می‌شود. قندهای محلول باعث افزایش پایداری غشا و کاهش پژمردگی گل می‌شوند (Karimi *et al*., 2017). پلی‌آمین‌ها به ویژه اسپرمیدین با اثر روی مقدار تولید اتیلن باعث کاهش تولید این تنظیم کننده‌ی رشد، در نتیجه کاهش مصرف قندهای محلول و پروتئین در طی فرآیند تنفس و افزایش عمر گلجایی می‌شوند. استفاده از ترکیبات ضدمیکروبی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها با افزایش عمر گلجایی، موجب افزایش درجه‌ی بریکس نسبت به شاهد در گل شاخه‌بریده‌ی ژربرا شد (Di, 2008). حفظ یا افزایش درجه‌ی بریکس در ساقه‌ی گل‌های شاخه‌بریده را می‌توان به بازبرش‌های پیوسته‌ی گل زیر آب و ارتباط با سایر صفات مثل جذب آب نسبت داد که میزان کربوهیدرات ساقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hashemabadi, 2011). تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار مناسب‌ترین تیمار برای افزایش درجه‌ی بریکس در گل شاخه‌بریده‌ی میخک رقم "رد کورسا" بود (Kamiab, 2016).

کاهش وزن تر

اثر تیمارهای مختلف روی صفت کاهش وزن تر در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). عدم کاربرد پوتریسین باعث کاهش قابل‌توجه در وزن تر گل شاخه‌بریده‌ی میخک شد، به طوری که کاهش وزن تر (۶/۴۵ گرم) در گل شاخه‌بریده‌ی شاهد بالاتر از بقیه‌ی گل‌ها بود. تیمار اسپری ۰/۰۱ میلی‌مولار با کاهش وزن تر ۵/۱۴ گرم، اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. از طرف دیگر، کاهش وزن تر (۱/۸۱ گرم) در تیمار کاربرد ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین به صورت پیوسته کمتر از بقیه بود (جدول ۲).

افزایش وزن تر باعث تورژسانس سلول‌ها و ماندگاری بیشتر گلبرگ‌ها می‌شود. غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین و غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین، اثر معنی‌داری بر وزن تر گل‌های شاخه‌بریده‌ی آلسترومریا رقم "سوکاری" داشت (Alborz *et al*., 2015). استفاده از پلی‌آمین‌ها باعث افزایش وزن تر گل شاخه‌بریده‌ی گلایول شد (Zadnour *et al*., 2011). کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین باعث افزایش وزن تر گل‌های شاخه‌بریده‌ی گلایول شد (Abdel-Aziz, 2007). گل شاخه‌بریده‌ی رز تیمارشده با اسید هیومیک و پوتریسین، بیشترین میزان وزن تر را نسبت به شاهد داشت (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014). محلول‌پاشی پوتریسین با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر روی گل شب‌بو به طور معنی داری وزن تر را نسبت به شاهد افزایش داد (Youssef *et al*., 2004). کاربرد پلی‌آمین‌ها در محلول نگهدارنده‌ی گل شاخه‌بریده‌ی *Dahlia*

pinnata L. باعث افزایش وزن تر شد (Mahgoub *et al*., 2011). بالاترین وزن تر نسبی در گل‌های شاخه‌بریده‌ی گلایول با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد (Mohammadi *et al*., 2014).

درصد ماده‌ی خشک

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر درصد ماده‌ی خشک گل شاخه‌بریده‌ی میخک در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد پوتریسین در غلظت‌ها و روش‌های مختلف، درصد ماده‌ی خشک گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد افزایش داد. مقدار ماده‌ی خشک در گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین به صورت پیوسته با ۲۰/۱۴ درصد و ۰/۰۲ میلی‌مولار به صورت اسپری با ۱۹/۴۰ درصد بالاتر از بقیه تیمارها بود. از طرف دیگر، مقدار ماده‌ی خشک (۱۷/۰۵ و ۱۷/۷۲ درصد)، به ترتیب در گل‌های شاخه‌بریده‌ی شاهد و گل‌های تیمارشده با ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین به صورت اسپری کمتر از بقیه تیمارها بود (جدول ۲).

افزایش وزن خشک باعث جذب بیشتر مواد غذایی می‌شود. پوتریسین از طریق کنترل تولید اتیلن، تنفس فرازگرایی میخک را کاهش می‌دهد و باعث ذخیره‌ی ماده‌ی خشک بیشتر در گیاهان تیمارشده با پوتریسین می‌شود. ترکیبات ضد اتیلن با کنترل خسارت‌های اتیلن موجب حفظ و بهبود روابط آبی می‌شوند و وزن تر و خشک را افزایش می‌دهند (Blankenship and Dole, 2003). در گل‌های شاخه‌بریده‌ی رز، بیشترین میزان وزن خشک مربوط به تیمار اسید هومیک و پوتریسین بود (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014). غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین و غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر اسپرمین اثر معنی‌داری بر افزایش وزن خشک گل‌های شاخه‌بریده‌ی آلسترومریا داشتند (Alborz *et al*., 2015). درصد ماده‌ی خشک در گل شاخه‌بریده‌ی میخک رقم "رد کورسا" با تیمار اسپرمیدین افزایش یافت (Kamiab, 2016). کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین باعث افزایش وزن خشک گل‌های شاخه‌بریده‌ی گلایول شد (Abdel-Aziz, 2007). کاربرد پلی‌آمین‌ها (به ویژه اسپرمین در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار) مقدار نشاسته، پروتئین و RNA را در گل شاخه‌بریده‌ی رز افزایش داد (Costa *et al*., 2002). پلی‌آمین‌ها باعث کاهش آنزیم-های هیدرولیتیک می‌شوند در نتیجه تجزیه‌ی مواد در اثر تنفس کاهش می‌یابد (Lee *et al*., 1997 ; Kamiab, 2016).

نشت یونی

بر اساس داده‌های جدول ۱، اثر تیمارهای مختلف روی نشت یونی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. از طرف دیگر، بر اساس داده‌های جدول ۲، بالاترین نشت یونی (۱۶/۳۷ درصد)، در گل‌های شاخه‌بریده‌ی شاهد محاسبه شد که این اختلاف با میزان نشت یونی در سایر گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با غلظت‌ها و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین کاملاً معنی‌دار بود. این میزان نشت یونی بیش از دو برابر نشت یونی در گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین به کار برده شده به صورت پیوسته بود.

پلی‌آمین‌ها در حفاظت از غشاها و ممانعت از نشت الکترولیت‌ها و اسیدهای آمینه نقش دارند (Liu *et al*., 2009). پلی‌آمین‌ها می‌توانند به عنوان غیرفعال‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد عمل کنند و غشاهای سلولی را در برابر اکسیده‌شدن حفظ نمایند و به این ترتیب مقاومت غشا را افزایش دهند (Tassoni *et al*., 1998). استفاده از اسپرمین و اسپرمیدین در گل شاخه‌بریده‌ی لیسیانتوس باعث کاهش نشت یونی شد (Ataii *et al*., 2015).

کلروفیل برگ و کاروتنوئید گلبرگ

نتایج جدول ۱ نشان داد که اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر مقدار کلروفیل کل برگ و کاروتنوئید گلبرگ گل‌های شاخه‌بریده‌ی میخک، به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی داری بود (جدول ۱). بررسی مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که مقدار کلروفیل بالاتر (۳/۹۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) و پایین‌تر (۲/۲۵ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر)، به ترتیب مربوط به برگ‌های موجود در گل‌های شاخه‌بریده‌ی تیمارشده با ۰/۰۲ و ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین اعمال‌شده به صورت پالس بود. مقدار کلروفیل بالاتر از ۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر، در تیمارهای اسپری ۰/۰۱ و ۰/۰۲ میلی‌مولار پوتریسین نیز به دست آمد. میزان کاروتنوئید بالاتر (۶/۱۱ و ۶/۱۰ میکروگرم در هر گرم وزن تر)، به ترتیب در گل‌های تیمارشده با ۰/۰۲ میلی‌مولار پوتریسین اعمال‌شده به صورت اسپری و ۰/۰۵ میلی مولار پوتریسین اعمال‌شده به صورت پیوسته تولید شد. مقدار کاروتنوئید (۵/۵۴ میکروگرم در هر گرم وزن تر) در تیمار پالس ۰/۰۵ میلی‌مولار نیز بالا بود و اختلاف معنی‌داری با دو تیمار فوق نداشت. میزان تولید کاروتنوئید (۱/۸۷ میکروگرم در هر گرم وزن تر) در گل‌های شاهد کمتر از بقیه بود.

کاهش کلروفیل یکی از علائم پیری و نزدیک‌شدن به پایان عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده است. زردی برگ‌ها به دلیل تخریب کلروفیل در حضور اتیلن است (Wagstaff *et al*., 2005). پلی‌آمین‌ها با جلوگیری از فعالیت پراکسیداز و کلروفیلاز مانع از تجزیه‌ی کلروفیل‌ها می‌شوند (Ma *et al*., 1996 ;Alborz *et al*., 2015). یکی از

شاخص‌های اصلی و تعیین‌کننده در کیفیت پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده و بازارپسندی آن‌ها وجود رنگدانه در گلبرگ‌ها است. از مهم ترین رنگدانه‌هایی که در ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده اهمیت دارند، می‌توان به کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها اشاره کرد (Hassanpour; Alborz *et al*., 2015 Asil and Karimi, 2010). زمانی و همکاران (Zamani *et al*., 2011) استفاده از مواد افزاینده‌ی عمر گلجایی را روی حفظ و افزایش مقدار رنگدانه‌ها در گل شاخه‌بریده‌ی داودی مثبت گزارش کردند. تیمار پوتریسین و اسپرمین اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ آلسترومریا داشت (Alborz *et al*., 2015). پلی‌آمین-های برون‌زاد تجزیه‌ی کلروفیل در پروتوپلاست‌ها را به تعویق انداختند، از فعالیت آنزیم پروتئاز جلوگیری کردند و توانایی پروتوپلاست‌ها را در سنتز DNA و RNA و انجام چندین دوره تقسیم سلولی افزایش دادند (Kaur-Sawhney *et al*., 1980). بیشترین میزان غلظت کلروفیل برگ مربوط به تیمار اسید هومیک و پوتریسین در گل شاخه‌بریده‌ی رز بود (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014). Kazemi و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که استفاده از ترکیبات ضد اتیلن در محلول‌های نگهدارنده‌ی گل‌های شاخه‌بریده، موجب افزایش مقدار کلروفیل شدند.

مالون دی‌آلدئید (MDA)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد پوتریسین بر مقدار MDA گل‌های شاخه‌بریده در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۱). تیمار ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین اعمال‌شده به صورت پیوسته با القای تولید ۱۷/۵۵ نانومول بر گرم وزن تر، مناسب‌ترین تیمار جهت کاهش تجمع MDA بود. تولید مقدار بالاتر MDA (۲۱/۴۰ و ۲۱/۱۹ نانومول در هر گرم وزن تر)، به ترتیب متعلق به تیمار پیوسته ۰/۰۱ میلی‌مولار و شاهد بود که اختلاف آنها با تیمار پالس ۰/۰۱ میلی‌مولار معنی‌دار نبود (جدول ۲).

پلی‌آمین‌ها در گیاهان تحت تنش، از پراکسیدسیون لیپیدها و تخریب ماکرومول‌ها جلوگیری می‌کنند (Tang and Newton, 2005). استفاده از اسپرمین و اسپرمیدین در گل شاخه‌بریده‌ی لیسیانتوس سبب کاهش MDA شد (Ataii *et al*., 2015). تیمار گل های شاخه‌بریده‌ی رز با ۰/۱ میلی‌مولار بر لیتر اسپرمین، باعث حفظ مقادیر بالای قندهای احیاشده و پروتئین‌های محلول شد اما از افزایش در قابلیت نفوذپذیری غشای پلاسمایی در گلبرگ‌ها و برگ‌ها و تجمع MDA در گلبرگ‌ها ممانعت کرد (Costa *et al*., 2002; Yang *et al*., 2000).

آنزیم‌های SOD و POD

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مختلف و فعالیت آنزیم‌های SOD و POD تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۱). فعالیت SOD و POD تحت تأثیر تیمارهای مختلف افزایش یافت، به‌طوری که فعالیت کمتر POD (۲/۹۶ نانومول در هر گرم وزن تر) و SOD (۱۷/۳۲ واحد آنزیم در هر گرم وزن تر) در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد. فعالیت بالای POD (۴/۱۹ نانومول در هر گرم وزن تر) و SOD (۲۳/۰۴ واحد آنزیم در هر گرم وزن تر)، به ترتیب در گل‌های تیمارشده با ۰/۰۵ میلی‌مولار پوتریسین به صورت پالس و ۰/۰۲ میلی‌مولار پوتریسین به صورت اسپری اندازه‌گیری شد (جدول ۲). فعالیت SOD (۲۱/۵۰ واحد آنزیم در هر گرم وزن تر) و POD (۳/۹۲ نانومول در هر گرم وزن تر) به ترتیب در تیمارهای اسپری ۰/۰۵ میلی‌مولار و پالس ۰/۰۲ میلی‌مولار با تیمارهای فوق که فعالیت بالایی داشتند، معنی‌دار نبود.

آنزیم‌های SOD، POD و کاتالاز (CAT) به عنوان ترکیبات آنتی اکسیدانی، از گیاهان در برابر گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند (Dat *et al*., 2000; Agarwal *et al*., 2005; Sood and Nagar, 2003). پلی‌آمین‌ها رادیکال‌های آزاد را خنثی می‌کنند و در سنتز آنزیم‌ها نیز مشارکت دارند (Pang *et al*., 2007). پیوند پلی‌آمین‌ها به پروتئین‌ها از آن‌ها در برابر اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Groppa and Benavides, 2008). تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمین منجر به افزایش فعالیت آنزیم SOD در گل شاخه‌بریده‌ی آلسترومریا شد (Alborz *et al*., 2015). غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر پوتریسین و اسپرمین به طور معنی‌داری فعالیت آنزیم CAT را افزایش دادند (Alborz *et al*., 2015). تیمار اسپرمیدین موجب افزایش معنی دار میزان فعالیت آنزیم‌های شکارکننده‌ی رادیکال‌های آزاد مانند SOD و CAT گردید (Farjadi Shakib *et al*., 2013). پوتریسین در گل آفتاب‌گردان سبب تحریک آنزیم CAT شد (Rubinowska and Miachałek, 2009). با شروع اولین علائم پیری، آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مانند POD برای خنثی‌کردن اثرات مخرب گونه‌های اکسیژن فعال، در سلول‌های گلبرگ افزایش می‌یابند.

نتیجه‌گیری

میخک یک گیاه زینتی با ارزش تجاری بالا در صنعت گل‌های شاخه‌بریده است. عمر گلجایی میخک کم است و علت اصلی آن تولید اتیلن پس از برداشت می‌باشد. استفاده از ترکیبات کاهنده یا ممانعت کننده‌ی سنتز اتیلن راهی مؤثر در افزایش عمر پس از برداشت میخک است. در پژوهش حاضر، کاربرد پوتریسین در روش‌ها و غلظت‌های مختلف (همه‌ی تیمارها)، عمر گلجایی را نسبت به شاهد افزایش داد. نتایج نشان داد که بیشترین عمر گلجایی (۱۴ روز) در گل‌های

شاخه‌بریده‌ی میخک تیمارشده با ۰/۰۲ میلی‌مولار پوتریسین به صورت اسپری به دست آمد. این تیمار با کاهش تولید اتیلن و افزایش جذب آب و افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز باعث افزایش عمر پس از برداشت گل شاخه‌بریده‌ی میخک گردید. بنابراین، این تیمار توصیه می‌شود.

منابع

1. Abbasi, N.A., Ali, I., Hafiz, I.A., & Khan, A.S. (2017). Application of polyamines in horticulture: A review. *International Journal of Biosciences*, *10*(5), 319-342. http://dx.doi.org/10.12692/ijb/10.5.319-342
2. Abdel-Aziz, G. (2007). Some studies on the effects of putrescine on growth, flowering and some chemical constituents of gladiolus. *Ozean Applied Science, 2*, 1943–1956.
3. Abu-Kpawoh, J.C., Xi, Y.F., Zhang, Y.Z., & Jin Y.F. (2002). Polyamine accumulation following hot water dips influence chilling injury and decay in friar plum fruit. *Food Chemistry and Toxicology*, *67*, 2649–2653. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08793.x
4. Agarwal, S., Sairam, R.K., Srivatava, G.C., & Meena, R.C. (2005). Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, *49*, 541–550. https://doi.org/10.1007/s10535-005-0048-z
5. Alborz, Z., Habibi, F., & Mortazavi S.N. (2015). Effect of putrescine and spermine spraying on increasing vase life of alstroemeria (cv. 'Sukari'). *Journal of Crops Improvement*, *17*(1), 241–255. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2015.54804
6. Anjum, M.A. (2011). Effect of exogenously applied spermidine on growth and physiology of citrus rootstock Troyer citrange under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *35*, 43–53. https://doi.org/10.3906/tar-0912-563
7. Amarjit, B. (2000). Plant growth regulation agriculture and horticulture. *Food Product Press*, *5*, 147–165.
8. Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review in Plant Biology*, *55*, 373–399. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701
9. Ataii, D., Naderi, R., & Khandan Mirkohi, A. (2015). Exogenous putrescine delays senescence of lisianthus cut flowers. *Journal of Ornamental Plants, 5*(3), 167–174.
10. Blankenship, S., & Dole, J.M. (2003). 1-Methylcyclo-propene: A review. *Postharvest Biology and Technology*, *28*, 1–25. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6
11. Borrell, A., Carbonell, L., Farras, R., Puig-Parellads, P., & Tiburcio, A.F. (1997). Polyamines inhibit lipid peroxidation in senescing oat leaves. *Physiologia Plantarum*, *99*, 385–390. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb00551.x
12. Bregoli, A.M., Scaramagli, S., Costa, G., Sabatini, E., Ziosi, V., Biondi, S., & Torrigiani, P. (2002). Peach (*Prunus persica* L.) fruit ripening: Aminoethoxyvinylglycine (AVG) and exogenous polyamines affect ethylene emission and flesh firmness. *Physiologia Plantarum, 114*, 472–481. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1140317.x
13. Casiro, R.A., & Marton, L.J. (2007). Targeting polyamines metabolism and function in cancer and other hyper-proliferative diseases. *Natural Reviews Drug Discovery*, *6*, 373–390. https://doi.org/10.1038/nrd2243
14. Costa, M.L., Civello, P.M., Chaves, R., & Martinez, C.A. (2002). Characterization of Mg-dechelase activity obtained from *Fragaria ananasa* fruit. *Plant Physiology and Biochemistry*, *10*, 111–118. http://dx.doi.org/10.1016/S0981-9428(01)01358-4
15. Dantuluri, V.S.R., Misraand, R.L., & Singh, V.P. (2008). Effect of polyamines on postharvest life of gladiolus spikes. *Journal of Ornamental Horticulture*, *11*(1), 66–68.
16. Dastyaran, M., & Hosseini Farahi, M. (2014). Effect of humic acid and putrescine on vegetative characteristics and vase life of rose in soilless culture system. *Sciences and Technologies of Greenhouse Cultures*, *5*(20), 242-252. (In Persian)
17. Dat, J., Vandenabeele, S., Vranova, E., Van Montagu, M., Inze, D., & Van Breusegem, F. (2000). Dual action of active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Science*, *57*, 779–795. https://doi.org/10.1007/s000180050041
18. Di, W. (2008). Effects of antibiotics on the senescence of *Gerbera jamesonii* cut flower. *Journal of Anhui Agricultural Science, 25*, 10768–10770.
19. Drolet, G., Dumbroff, E.B., Legge, R.L., & Thompson, J.E. (1986). Radical scavenging properties of polyamines. *Phytochemistry*, *25*, 367–371. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)85482-5
20. Farjadi Shakib, M., Naderi, R., & Mashhadi Akbar Boujar, M. (2013). Effects of spermidine spray on morphological, physiological and biochemical characteristics of *Cyclamen persicum* Miller. *Journal of Plant Ecophysiology*, *5*(13), 96–113. (In Persian)
21. Galston, A.W., & Kaur-Sawhney, R. (1990). Polyamines in plant physiology. *Plant Physiology*, *94*, 406–410. https://doi.org/10.1104/pp.94.2.406

22. Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1997). Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology, 59*, 309–314.
23. Groppa, M.D., & Benavides, M.P. (2008). Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids, 34*, 35–45. https://doi.org/10.1007/s00726-007-0501-8
24. Hashemabadi, D. (2011). *Comparison of silver Nano-particle and silver thiosulfate on quality and vase life of cut carnation cv. "Tempo"*. Final Report of Research Proposal, Islamic Azad University, Rasht Branch, 101 p. (In Persian)
25. Hashemabadi, D. (2012). *Postharvest biology and technology of flower, fruit and vegetable*. Publication of Islamic Azad University, Rasht Branch, 894 p. (In Persian)
26. Hassanpour Asil, M., & Karimi, M. (2010). Efficiency of benzyladenine reduced ethylene production and extended vase life of cut *Eustoma* flowers. *Plant Omics Journal*, *3*(6), 199–203.
27. Heath, R.L., & Parcker, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysics*, *125*, 189–198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1
28. Hosseini Farahi, M., & Zadehbagheri, M. (2016). Effect of foliar application of polyamines on growth properties, vase life and endogenous plant growth regulators contents of cut rose flower (*Rosa hybrida* cv. Dolcvita). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *47*(4), 717–729. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.120836.740
29. Hutchinson, M.J., Chebet, D.K., & Emongor, V.E. (2003). Effect of accel, sucrose and silver thiosulphate on the water relation and postharvest physiology of cut tuberose flowers. *African Crop Science Journal*, *11*(4), 279–287. http://dx.doi.org/10.4314/acsj.v11i4.27578
30. Kakkar, R.K. (2002). Polyamine research in plants – a changing perspective. *Plant Physiology*, *116*(3), 281–292.
31. Kakkar, R.K., & Sawhney, K.V. (2003). Polyamine research in plants-a changing perspective. *Physiologia Plantarum*, *116*(3), 281–292. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160302.x
32. Kamiab, F. (2016). Effects of different polyamines on vase life, ethylene production and some physiological traits of carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. Red Corsa). *Journal of Crops Improvement*, *18*(2), 275–288. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2016.56619
33. Kandil, M.M., El-Saady, M.B., Mona, H.M., Afaf, M.H., & Iman, M.E. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of *Chrysanthemum indicum* L. *American Journal of Plant Science, 7*(3), 399–408.
34. Karimi, M., Akbari, F., & Heidarzade, A. (2017). Protective effects of polyamines on regulation of senescence in spray carnation cut flowers (*Dianthus caryophyllus* 'Spotlight'). *Acta Agriculturae Slovenica*, *109*(3), 509–515. http://dx.doi.org/10.14720/aas.2017.109.3.03
35. Kaur-Sawhney, R., Flores, H.E., & Galston, A.W. (1980). Polyamine-induced DNA synthesis and mitosis in oak leaf protoplasts. *Plant Physiology*, *65*, 368–371. https://doi.org/10.1104/pp.65.2.368
36. Kazemi, M., Hajizadeh, H., Gholami, M., Asadi, M., & Aghdasi, S. (2012). Efficiency of essential oils, citric acid, malic acid and nickel reduced ethylene production and extended vase life of cut *Lisianthus* flowers. *Research Journal of Botany*, *7*(1), 14–18. https://scialert.net/abstract/?doi=rjb.2012.14.18
37. Keshavarzi, M. (2014). Effect of glycerol and putrescine on postharvest characteristics of gerbera flower. *First National Congress of Flower and Ornamentals. Mahalat, Arak, Iran*. (In Persian)
38. Khan, A.S., Singh, Z., Abbasi, N.A., & Swinny, E.E. (2008). Pre- or postharvest application of putrescine and low temperature storage affect fruit ripening and quality of Agelino plum. *Science of Food and Agriculture*, *88*, 1687–1695. https://doi.org/10.1002/jsfa.3265
39. Lee, M., Lee, S., & Park, K. (1997). Effect of spermine on ethylene biosynthesis in cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers during senescence. *Journal of Plant Physiology, 151*, 68–73. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(97)80038-7
40. Liu, J.P., He, S.G., Zhang, Z.Q., Cao, J.P., Lv, P.T., He, S.D., Cheng, G.P., & Joyce, D.C. (2009). Nanosilver pulse treatments inhibit stem- end bacteria on cut gerbera cv. 'Ruikou' flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *54*, 59–62. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.004
41. Ma, J.Y., Zhou, R., & Cheng, B.S. (1996). Effect of spermine on the peroxidase activity of detached wheat leaves. *Shandang Agriculture University*, *27*, 176–180. https://doi.org/10.1023/A:1022514712295
42. Mahgoub, M.H., Abd El-Aziz, N.G., & Mazhar, M.A. (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, *10*(5), 769–777.
43. Mahgoub, M.H., El-Ghorab, A.H., & Bekheta, M.H. (2006). Effect of some bioregulators on the endogenous phytohormones, chemical composition, essential oil and its antioxidant activity carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Journal of Agricultural Science*, *31*(7), 4229–4245.
44. Mahros, K.M., El-Saady, M.B., Mahgoub, M.H., Afaf, M.H., & El-Sayed, M.I. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of *Chrysanthemum indicum* L. plant. *Journal of American Science*, *7*(3), 399–408.

45. Martinez-Tellez, M.A., Ramos-Clamont, M.G., & Gardea, A.A. (2002). Effect of infiltrated polyamines on polygalacturonase activity and chilling injury responses in zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.). *Biochemistry and Biophysics Research Community*, *295*, 98–110. https://doi.org/10.1016/s0006-291x(02)00631-9
46. Mazumdar, B.C., & Majumdar, K. (2003). Methods on physicochemical analysis of fruits. *www.sundeepbooks.com*. 187 p.
47. Mohammadi, G.A., Salehi Sardoei, A., & Shahdadneghad, M. (2014). Improvement of the vase life of cut gladiolus flowers by salicylic acid and putrescine. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *2*(2), 417–426.
48. Pang, X., Zhang, Z., Wen, X., Ban, Y., & Moriguchi, T. (2007). Polyamines, all-purpose players' in response to environment stresses in plants. *Plant Stress*, *1*, 173–188.
49. Perez-Vicente, A., Martinez-Romero, D., Carbonell, A., Srrano, M., Riquelme, F., Guillen, F., & Valero, D. (2002). Role of polyamines in extending shelf life and reduction of mechanical damage during plum (*Prunus salicina* L.) storage. *Postharvest Biology and Technology*, *25*, 25–32. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00146-6
50. Reid, M.S. (2004). Produce facts alstromeria, Peruvian lily. *Postharvest Technology Information Center*, *424*, 137–144.
51. Rubinowska, K., & Miachałek, W. (2009). Influence of putrescine on leaf senescence of *Helianthus annuus* potted plants. *Horticulture Landscape Architect*, *30*, 57–65.
52. Sedaghathoor, Sh., Narouei, Z., Sajjadi, S.A., & Piri, S. (2020). The effect of chemical treatments (silver thiosulfate and putrescine) on vase life and quality of cut *Chrysanthemum morifolium* (Ram.) flowers. *Cogent Biology*, *6*, 1754320. https://doi.org/10.1080/23312025.2020.1754320
53. Sivaprakasam, G., Singh, V., & Arora, A. (2009). Physiological and molecular analysis of effect of spermine on senescing petals of gladiolus. *Indian Journal of Plant Physiology*, *14*(4), 384–391.
54. Soleimany-Fard, E., Hemmati, K., & Khalighi, A. (2014). Impact of pre- and post-harvest putrescine applications on water relations and vase life of cut alstroemeria flowers. *Advances in Environmental Biology*, *8*(12), 158–165.
55. Sood, S., & Nagar, P.K. (2003). The effect of polyamines on leaf senescence in two diverse rose species. *Plant Growth Regulators*, *39*, 155–160. https://doi.org/10.1023/A:1022514712295
56. Tang, W., & Newton, R.J. (2005). Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulators*, *132*(4), 658–674. https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0
57. Tassoni, A., Ramoti, I., & Shalazin, M. (1998). Characterization of spermidine binding to solubilized plasma membrane. *Planta Physiology 117*: 971–977. https://doi.org/10.1104/pp.117.3.971
58. Tassoni, A., Accettulli, P., & Bagni, N. (2006). Exogenous spermidine delays senescence of *Dianthus caryophyllus* flowers. *Plant Biosystems*, *140*, 107–114. https://doi.org/10.1080/11263500500520281
59. Wagstaff, C., Chanasut, U., Harren, F.J.M., Laarhoven, L.J., Thomas, B., Rogers, H.J., & Stead, A.D. (2005). Ethylene and flower longevity in alstromeria: relationship between tepal senescence, abscission and ethylene biosynthesis. *Experimental Botany*, *56*, 1007–1016. https://doi.org/10.1093/jxb/eri094
60. Yang, C.W., He, S.G., Jiang, Y.M., & Yi, S. (2000). Effects of polyamines on biochemical and physiological changes and vase life of cut rose (*Rosa chinensis* Jacq. cv. Bellamie) flowers during senescence. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, *8*(2), 104–108.
61. Youssef, A.A., Mahgoub, M.H., & Talaat, I.M. (2004). Physiological and biochemical aspects of *Matthiola incana* L. plants under the effect of putrescine and kinetin treatments. *Egyptian Journal of Applied Science*, *19*(9B), 492–510.
62. Zadnour, P., Khoshkhoy, M., & Rahimian, A. (2011). *Effect of putrescine, spermine and spermidine on flowering and vegetative growth of gladiolus plant*. 7th Congress of Iranian Horticultural Science. Isfahan, Iran. (In Persian)
63. Zamani, S., Hadavi, E., Kazemi, M., & Hekmati, J. (2011). Effect of some chemical treatments on keeping quality and vase life of *Chrysanthemum* cut flowers. *World Applied Science Journal*, *12*(11), 1962–1966.
64. Zhang, H., Hu, S.L., Zhang, Z.J., Hu, L.Y., Jiang, C.X., Wei, Z.J., & Jiang, S.T. (2011). Hydrogen sulfide acts as a regulator of flower senescence in plants. *Postharvest Biology and Technology*, *60*(3), 251–257. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.01.006